Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 413-433

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۳۳-۴۱۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش

حسین اسدی[۱]، رضا برادران[۲*]، محمدجواد ثقه الاسلامی[۲]، سید غلامرضا موسوی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

این پژوهش با هدف مطالعه تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کنجد و شناسایی ژنوتیپ‌هـای متحمـل بـه تـنش خشکی در سال ۱۳۹۶ در قالب طرح آگمنت یک جهته در شرایط مزرعه انجام شد. در این آزمایش ۳۲ ژنوتیپ کنجد در دو محیط بدون تـنش و تـنش خشکی (۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در صفات مورد اندازه‌گیری بین ژنوتیپ‌هـا در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بود و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی امکان‌پذیر شد. ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، یکه سعود و شعبان به‌ترتیـب بـا ۲۳۴۴، ۲۰۶۱ و ۲۰۵۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش داشتند. در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان و یکه سعود به‌ترتیب با ۱۳۶۰، ۱۱۲۷ و ۱۱۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند که در مقایسه با شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۵۸، ۵۵ و ۵۴ درصد کاهش را نشان داد. همچنین کمترین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پاکستان، افغانستان و کردستان به‌ترتیب با ۶۲۴، ۶۴۴ و ۶۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۵۳، ۵۴ و ۵۷ درصد کاهش را نشان داد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص تحمل به تنش خشکی (STI) به‌ترتیب در رقم داراب ۱۴ با ۱/۳۶ و ژنوتیپ پاکستان با مقدار ۰/۳۱۵ به‌دست آمد. بر اساس شاخص‌های تحمل ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان و یکه سعود به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در منطقه بجنورد معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: ارقام متحمل، عملکرد، کنجد، نیاز آبی

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum*) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی مورد کشت می‌باشـد. اتیـوپی معمـولاً بـه‌عنـوان مبـدأ کنجـد اهلـی پذیرفته‌شده است. مـوطن ایـن دانـه روغنـی آفریقـا بـوده اسـت امـا شواهدی نیز وجود دارد که کنجد از هند منشأ گرفته اسـت (Weise, 2000). کنجد گیاهی دیپلوئید (2n=26) که به‌صـورت بوتـه‌ای رشـد می‌کند (Khajehpour, 2004). کنجد بـه‌دلیـل بـالا بـودن محتـوی روغن (۶۲-۴۵ درصد) و کیفیت و همچنین دوام بـالای روغـن آن از جایگاه ویژه‌ای در بین گیاهان روغنی برخورداراست (Roebbelen *et al.*, 1989). ترکیب فنلی سزامول که سبب ثبـات و پایـداری روغـن کنجد در برابر اکسـید شـدن مـی‌شـود از تجزیـه سـزامولین حاصـل می‌شود. روغن کنجد شـامل ۸۷ درصـد اسـید چـرب غیراشـباع و ۱۳ درصد اسید چرب اشباع می‌باشد (Mahmood *et al.*, 2012). کنجد در برابر خشکی مقاوم بوده اما این بدان معنی نیسـت کـه در صـورت عدم تأمین حداقل آب مورد نیاز گیاه، می‌توان بـازدهی و رشـد خـوبی به‌دست آورد. ویژگی مقاومت کنجد در برابر خشکی از مزایـای عمـده آن است زیرا می‌توان آن را در مناطق نسبتاً خشک کاشـت و روغنـی باکیفیت خوب به‌دست آورد. این گیاه به‌دلیل مقاومـت در برابـر تـنش آب و سازگاری، در بسیاری از کشورهای کم باران حائز اهمیت اسـت (Weise, 2000).

تنش خشکی به شـرایطی اطـلاق مـی‌شـود کـه در آن سـلول و بافت‌ها در وضعیتی قرار مـی‌گیرنـد کـه آمـاس آن‌هـا کامـل نباشـد، به‌عبارت دیگر کمبود آب زمانی اتفاق می‌افتد که میزان تعرق بیش از مقدار جذب آب باشد (Alizadeh, 2005). تـنش خشـکی زمـانی در گیاه حادث می‌شود که میزان آب دریافتی گیاه کمتر از تلفات آن باشد (میزان تعرق بیش از مقدار جـذب آب باشـد) (Bray, 1997; Singh and Patel, 1996). از میان تنش‌های زیستی و محیطی که گیاهـان زراعی در طی فصل رشد در معرض آن هستند، کمبود رطوبت نتیجـه به‌مراتب شدیدتری بـر کـاهش عملکـرد دارد (Zare *et al.*, 2004). تنش خشکی جزء تنش‌های عمده می‌باشد که اثرات بسیار نـامطلوبی به رشد گیاه و در تولید گیاهان زراعی می‌گذارد. تنش خشـکی عـلاوه بر اثر منفی بر عملکرد باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به‌ویژه تـنش

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصـلاح نباتـات، واحـد بیرجنـد، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران
۲- دانشیار و عضو هیات علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد بیرجند، دانشـگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: r.baradaran@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2020.88165

کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌شود (Heydari Sharif Abad, 2001).

در پژوهش‌هایی گزارش شده‌است که در کنجد با اعمال تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی تا پایان فصل رشد، عملکرد، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Golestani and Pakniat, 2007; Heidari *et al.*, 2011; Pouresmaiel *et al.*, 2013; Hassanzadeh *et al.*, 2009). بیشترین عملکرد دانه در گیاه کنجد، در شرایط بدون تنش خشکی در شرایط آب و هوایی استان البهیرا مصر برای ژنوتیپ Shandweel3 با ۱۱۱۶/۵۹۵ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی کمترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Giza32 با ۴۱۹/۰۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Kassab *et al.*, 2012). همچنین بیشترین عملکرد کنجد در شرایط آب هوایی صفی‌آباد دزفول مربوط به ژنوتیپ Ts3 با میانگین عملکرد ۱۲۶۶/۶۶۷ کیلوگرم در هکتار در محیط بدون تنش و کمترین عملکرد دانه برای ژنوتیپ پاناما با میانگین عملکرد ۲۳۶/۶۶۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش خشکی بود (Shokooh Far and Yaghoubi Nejad, 2012). در پژوهشی که توسط درگاهی و همکاران (Dargahi *et al.*, 2012) در شرایط آب و هوایی پارس آباد انجام شده بود بیشترین عملکرد دانه برای رقم اولتان با ۱۱۲۶/۹۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد در شرایط تنش خشکی برای رقم هندی ۱۴ با ۲۸۶/۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر در شرایط آب و هوایی منطقه مغان بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ کرج ۱ با ۱۸۸۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ هندی ۱۲ با ۷۷۸ کیلوگرم در هکتار بود (Eshghi *et al.*, 2011). در پژوهشی بر روی کنجد در منطقه آب و هوایی جیرفت، بیشترین شاخص برداشت با ۰/۸۸ در دور آبیاری هفت‌روزه به‌دست آمد (Saeidi *et al.*, 2012). با افزایش تنش کم‌آبی عملکرد دانه و بیولوژیکی کنجد در شرایط آب و هوایی جیرفت (Saeidi *et al.*, 2012) و رامهرمز (Eskandari *et al.*, 2009) کاهش یافت. خشکی آثار مخرب و زیان‌آوری روی مراحل مختلف رشدی گیاه دارد (Salehpour *et al.*, 2009).

تحقیقاتی برای ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش رطوبتی انجام‌شده و مهم‌ترین برنامه‌های پژوهشی در مدیریت خشکی در گیاهان مختلف، شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های حساس، متحمل و مقاوم به تنش خشکی می‌باشد. فرنانذز (Fernandez, 1992) جهت تعیین نحوه واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را ارائه کرد. ژنوتیپی که مقدار STI آن بالاتر است، تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالایی دارد. همچنین فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) برای شناسایی واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش، شاخص حساسیت به تنش (SSI) را ارائه نمودند و ژنوتیپ‌هایی که توسط SSI گزینش می‌شوند، عملکرد بالقوه کمی دارند اما در شرایط تنش عملکرد آن‌ها زیاد است. همچنین شاخص بهره‌وری (MP) و شاخص تحمل (TOL) نیز توسط روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) ارائه شدند. در این روش انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، بر اساس مقادیر کم TOL و مقادیر بالای MP است. شیری و همکاران (Shiri *et al.*, 2010) و همچنین ملا صادقی و همکاران (Mollasadeghi *et al.*, 2013) در مطالعات خشکی در گندم و حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh *et al.*, 2009) در سویا از STI به‌عنوان شاخص مؤثر نام برده‌اند. شیری و همکاران (Shiri *et al.*, 2010) همچنین از روش بای پلات بر مبنای STI برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش رطوبتی به نحو مؤثری استفاده نمودند. با توجه به مسئله جدی محدودیت منابع آبی و خشکسالی و تأثیر آن در کاهش عملکرد، این تحقیق جهت ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های کنجد بر اساس شاخص‌های تحمل جهت شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های حساس، متحمل و مقاوم و گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم و شناسایی همبستگی صفات مرتبط با تحمل به خشکی، از طریق مطالعات مزرعه‌ای انجام شد. قابل ذکر است این آزمایش قسمتی از آزمایش دوساله است که به منظور شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی اجرا شد تا در سال دوم آزمایش‌های به‌زراعی بر روی ژنوتیپ مقاوم انجام شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف کنجد تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی آزمایشی در قالب طرح آگمنت در سه بلوک بر روی تعداد ۳۲ ژنوتیپ (جدول ۲) در زمین‌های زراعی جنوب شرقی بجنورد با مختصات طول جغرافیایی ″۴۱ ′۱۵ °۵۷ و عرض جغرافیایی ″۵۲ ′۲۲ °۳۷ و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۳۳ متر در سال ۱۳۹۶ اجرا گردید.

ژنوتیپ‌های مورد استفاده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به مقدار هر نمونه ۱/۵ گرم تهیه شد. در این آزمایش یک قطعه زمین به محیط تنش خشکی و دیگری به محیط بدون تنش اختصاص یافت که فاصله بین این دو محیط ۵ متر در نظر گرفته شد تا رطوبت دو محیط مجاور روی هم اثر نداشته باشد. قبل از عملیات آماده‌سازی زمین برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام و به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۱). پس از تعیین عناصر آن، کوددهی بر اساس شرایط خاک و نیاز گیاه مقدار ۲۰۰، ۱۵۰، ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم که

۵۰ درصد اوره قبل از کاشت و مابقی بعد از تنک کردن هنگامی‌که بوته‌ها ۶ برگی بودند در کف جوی‌ها و بین ردیف‌ها پخش شد. به‌منظور آماده‌سازی زمین ابتدا به کمک گاوآهن زمین را شخم زده و سپس با دو مرتبه دیسک عمود برهم و کلوخ‌شکن، کلوخه‌ها نرم شد سپس به کمک لولر تسطیح انجام گرفت ایجاد فارو با هدف ایجاد خطوط کشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experimental location

بافت خاک Soil texture	اسیدیته PH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P_2O_5 (ppm)	پتاسیم K_2O (ppm)
لومی شنی Sandy Loam	7.74	0.35	0.85	0.18	13.9	234

جدول ۲- نام ژنوتیپ‌های موردمطالعه

Table 2- Name of studied genotypes

شماره No	ژنوتیپ Genotype	شماره No	ژنوتیپ Genotype	شماره No	ژنوتیپ Genotype	شماره No	ژنوتیپ Genotype
1	پاکستان Pakistan	9	شیراز Shiraz	17	بویراحمد BoyerAhmad	25	داراب۲ Darab2
2	سبزوار Sabzevar	10	کرمان Kerman	18	اهواز Ahvaz	26	داراب۱ Darab1
3	افغانستان Afghanistan	11	بوشهر Bushehr	19	یزد Yazd	27	داراب۱۴ Darab14
4	دشتستان۲ Dashtestan2	12	گرگان Gorgan	20	مازندران Mazandaran	28	صفی‌آباد۱ SafiAbad1
5	دشتستان۵ Dashtestan5	13	مرکزی Markazi	21	اصفهان Esfahan	29	گلپایگان Golpayegan
6	تی اس تری Ts3	14	ایلام Ilam	22	یلو وایت YellowWhite	30	ورامین Varamin
7	خراسان Khorasan	15	هرمزگان Hormozgan	23	جیرفت۱۳ Jiroft13	31	یکه سعود YekehSeud
8	کردستان Kordistan	16	همدان Hamedan	24	اولتان Oltan	32	شعبان Shaban

در کل دوره رشد، وجین علف‌های هرز طی سه مرتبه به‌صورت دستی توسط کارگر انجام شد. جهت دستیابی به نتیجه بهتر در جوانه‌زنی، زمین قبل از کاشت آبیاری جهت مشخص شدن داغ آب و پس از به اصطلاح گاو رو شدن (هیرم کاری) توسط دست و با قرار دادن ۵-۳ بذر در عمق ایجادشده در داغ آب پشته‌ها اقدام به کشت گردید که در مرحله ۶ برگی عملیات تنک کردن توسط کارگر انجام شد طوری که تراکم بوته به تعداد۳۰ عدد در هر یک متر مربع برسد. آبیاری در هر دو محیط تا زمان گلدهی بر اساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A که به‌صورت روزانه از اداره هواشناسی دریافت می‌گردید (جدول ۳) انجام شد. با شروع گلدهی تنش بر روی محیط مورد نظر اعمال و آبیاری قطعه تنش خشکی بر اساس ۲۰۰ میلی‌متر و قطعه بدون تنش بر اساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام گرفت. تبخیر تجمعی از تشتک، زمان فرارسیدن آبیاری در هرکدام از محیط‌ها را مشخص می‌کرد.

میزان آب مورد نیاز گیاه بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید (Moosavi and Akhavan, 2007):

$$ET_{\circ} = ET_{pan} \times K_{pan} \qquad (۱)$$

$$ET_{crop} = ET_{\circ} \times K_c \qquad (۲)$$

که $ET_{\circ}$ تبخیر گیاه مرجع (تبخیر و تعرق پتانسیل در فاصله دو آبیاری)، ET_{pan} میزان تبخیر از تشتک بین هر دو آبیاری متوالی، ET_{crop} نیاز آبی گیاه، K_{pan} ضریب تشت که معمولاً برابر ۰/۷ می‌باشد و K_c ضریب گیاهی می‌باشد که از FAO Irrigation and Drainage Paper NO.56 استخراج گردید.

بخشی از آب آبیاری مورد نیاز از طریق بارندگی تأمین می‌شد که هنگام آبیاری، از میزان آب مورد نیاز گیاه کسر گردید. بارندگی مؤثر با استفاده از رابطه (۳) که روش اداره احیاء اراضی آمریکا USBR می‌باشد محاسبه گردید (Kolaeiyan and Gholami Sefid Kuhi, 2012).

$$P_{eff} = P_t(125 - 0.2P_t)/125 \qquad (۳)$$

که در آن P_{eff} بارندگی مؤثر (mm) و P_t بارندگی کل (mm) می‌باشد.

جدول ۳- وضعیت آب و هوایی بجنورد از تیرماه تا پایان مهرماه

Table 3- Meteorological details of Bojnurd research station

پارامترها Parameters	ماه Month				
	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October
حداقل مطلق دمای هوا Absolute minimum temperature (°C)	10.8	11.4	10.4	7	-0.4
حداکثر مطلق دمای هوا Absolute maximum temperature (°C)	40	39	37.2	35.2	30.4
متوسط حداقل مطلق دمای هوا Mean minimum temperature (°C)	16.4	17.4	16.5	12.4	8
متوسط حداکثر مطلق دمای هوا Mean maximum temperature (°C)	30.9	32.6	33.4	31.4	22.1
متوسط کل دمای هوا Mean temperature (°C)	23.6	25	25	21.9	15.1
بارندگی Precipitation (mm)	3.5	0.5	4.7	0	11.5
متوسط رطوبت نسبی Relative humidity (%)	49	41	38	36	59
متوسط تبخیر Average evaporation (mm)	9.15	9.64	9.59	8.03	3.53

بـر اسـاس عملکـرد در شـرایط تـنش خشـکی و بـدون تـنش شاخص‌های کمی تحمل به تنش، ازجمله شاخص حساسیت به تـنش (Fischer and Maurer, 1978)، شـاخص تحمـل بـه تـنش (Fernandez, 1992)، شاخص تحمـل، شـاخص متوسـط بهـره‌وری (Fischer and Maurer, 1978) و میـانگین هندسـی بهـره‌وری (Fernandez, 1992) با استفاده از روابط (۴) تا (۸) محاسبه شد:

$$SSI = (1-(Ys/Yp)/(1-(Y\bar{s}/Y\bar{p})) \quad (۴)$$

$$STI = (Yp)(Ys)/(Y\bar{p})^2 \quad (۵)$$

$$TOL = (Yp - Ys) \quad (۶)$$

$$MP = (\mathrm{Ys} + \mathrm{Yp})/2 \quad (۷)$$

$$GMP = \sqrt{(Ys \times Yp} \quad (۸)$$

که در آن Yp میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی، $\mathrm{Y\bar{p}}$ میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و $\mathrm{Y\bar{s}}$ میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی می‌باشد. پس از اجرای طرح و جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS جهت محاسبه تجزیه واریانس، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و مقایسه میانگین، نرم‌افزار S-PLUS جهت رسم نمودار سه‌بعدی و بای پلات، نرم‌افزار SPSS جهت محاسبه همبستگی صفات و همبستگی شاخص‌های تحمل و تجزیه کلاستر، از EXCEL جهت محاسبه شاخص‌های تحمل تنش اقدام گردید. صفات مورد اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن (روش سوکسله) و شاخص برداشت بودند.

نتایج و بحث

بررسی صفات

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد از نظر صفات مورد اندازه‌گیری در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان دادند که بیان‌کننده تنوع ژنتیکی و امکان گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود (جدول ۴ و ۵). دلیل پایین بودن درجه آزادی خطا به دلیل این است که در طرح آزمایشی آگمنت، خطا از روی تکرارهای چند اکوتیپ محلی که در بین بلوک‌ها کاشته شده‌اند به‌دست می‌آید. ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، یکه سعود و شعبان به‌ترتیب با ۲۳۴۴، ۲۰۶۱ و ۲۰۵۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های پاکستان، کردستان و مرکزی به‌ترتیب با ۱۱۸۴، ۱۱۷۶ و ۱۱۴۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش داشتند. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان و یکه سعود به‌ترتیب با ۱۳۶۰، ۱۱۲۷ و ۱۱۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند که در مقایسه با شرایط بدون تنش در همان ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب ۵۸، ۵۵ و ۵۴ درصد کاهش را نشان داد. همچنین کمترین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پاکستان، افغانستان و کردستان به‌ترتیب با ۶۲۴، ۶۴۴ و ۶۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به شرایط بدون تنش در همان ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب ۵۳، ۵۴ و ۵۷ درصد

کاهش را نشان داد که این امر می‌تواند در نتیجه کاهش آب قابل دسترس گیاه جهت افزایش تجمع ماده خشک نهایی دانه باشد (جدول ۶ و ۷). روزیو (Ruziev, 1973) با مطالعه روی تعدادی از ارقام گندم در شرایط آبی و دیم نتیجه گرفت که رقم‌هایی که در شرایط دیم بیشترین عملکرد را داشتند، در شرایط آبی نیز دارای عملکرد بالایی بودند. در مطالعه و پژوهشی که در شرایط مزرعه بر روی ۵ رقم کنجد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش انجام شد، اظهار داشتند که داراب ۱۴ از نظر صفات زراعی عملکرد محصول، نسبت به سایر ارقام تحمل بیشتری به خشکی داشته است (Shokooh Far and Yaghoubi Nejad, 2012).

جدول ٤- آنالیز واریانس صفات زراعی ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط بدون تنش در طرح آگمنت

Table 4- Analysis of variance for agronomical traits in sesame genotypes under non-stress conditions in the augmented design

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
		Mean square میانگین مربعات							
تیمار Treatment	29	45.13**	12.85**	21.07ns	0.078*	11.02**	69025.49**	1547652**	8.77**
خطا Error	4	1.235	0.612	5.44	0.01	0.275	4221.33	66133.33	0.44
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.6	10.7	9.3	10.4	7.7	17.5	14.2	17.1

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% levels, respectively.

جدول۵- آنالیز واریانس صفات زراعی ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط تنش خشکی در طرح آگمنت

Table 5- Analysis of variance for agronomical traits in sesame genotypes under drought stress conditions in the augmented design

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
		Mean square میانگین مربعات							
تیمار Treatment	29	39.86**	14.341**	14.14ns	0.074ns	9.34**	23984.28	714217.9**	8.36ns
خطا Error	4	0.918	1.022	5.096	0.037	0.292	6258.66	2133.33	3.472
ضریب تغییرات CV (%)		8.0362	13.597	8.9504	12.3785	7.9305	18.39	16.07904	17.79

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% levels, respectively.

فرجی (Faraji, 2016) بیان کرد که کاهش رطوبت خاک و ایجاد شرایط تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های سویا شد. مهمترین تأثیر تنش رطوبتی محدود کردن میزان توسعه برگ و کاهش نرخ رشد برگ‌ها می‌باشد که علت آن کاهش میزان تقسیم سلول‌ها و یا هر دوی آن‌ها می‌باشد و می‌تواند تجمع ماده خشک و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد.

از نظر ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های پاکستان، گرگان و TS3 به‌ترتیب ۹۸/۷، ۹۷/۸ و۹۷/۱ سانتی‌متر و در شرایط تنش خشکی صفی‌آباد ۱، گرگان و TS3 به‌ترتیب ۸۹/۸، ۸۹/۳ و ۸۸/۷ سانتی‌متر، دارای بیشترین ارتفاع بودند که نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۷/۳، ۸/۷ و ۸/۶ درصد کاهش ارتفاع نشان دادند. کمترین ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ‌های

افغانستان و همدان به‌ترتیب با ۷۷/۱ و ۷۷/۵ و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های سبزوار و همدان به‌ترتیب با ۶۷/۱ و ۶۹/۸ کمترین ارتفاع بوته را داشتند که در مقایسه با شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۱۵/۵ و ۹/۹۴ درصد و نسبت به ژنوتیپ پاکستان ۳۲ و ۲۹/۳ درصد کاهش داشتند. با وجود این‌که ارتفاع بوته بیشتر تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه است، اما به نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث ایجاد رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب می‌شود که این امر در نهایت منجر به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه و کوتاهی گیاه می‌شود (Paknejad *et al.*, 2007). در پژوهشی بر روی گیاه کنجد، با کاهش میزان آب آبیاری بعد از مرحله گلدهی، ارتفاع گیاه کاهش یافت (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). در پژوهش‌هایی دیگر، محققان در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته گیاه کنجد و سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) کاهش می‌یابد (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2005; Nourouzpour and Rezvani Moghaddam, 2006). کاهش تنش خشکی با تأثیر بر توسعه سیستم ریشه‌ای، تعداد و اندازه برگ‌ها، ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیکی سبب کاهش رشد و توسعه کنجد می‌شود (Jian *et al.*, 2010).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته را در شرایط بدون تنش خراسان، داراب ۱ و یکه سعود به‌ترتیب با ۳۹/۱، ۳۸/۸ و ۳۸/۴ در شرایط تنش خشکی خراسان، صفی‌آباد ۱ و داراب ۱ به‌ترتیب ۳۴/۷، ۳۳/۷ و ۳۳/۶ دارای بیشترین تعداد کپسول در بوته بودند. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته شد به‌طوری‌که کمترین تعداد کپسول در بوته در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ مرکزی با ۲۱/۱ مشاهده شد که نسبت به تیمار خراسان در شرایط بدون تنش ۴۶ درصد کاهش داشت. مطالعات رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2005) بر روی گیاه کنجد نشان می‌دهد که اثر دور آبیاری بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته کاهش یافت. همچنین در پژوهشی دیگر محققان نشان دادند که با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته کنجد کاهش می‌یابد (Duta *et al.*, 2000).

نتایج آنالیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه در کپسول در شرایط بدون تنش و تنش خشکی وجود نداشت. در پژوهشی که بر روی کنجد در شرایط آب و هوایی کرمان انجام شده بود نشان داد که اختلاف معنی‌داری در شرایط بدون تنش و تنش خشکی بر روی تعداد دانه در کپسول مشاهده نشد (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2015). در پژوهش دیگر در شرایط آب و هوایی اصفهان بر روی کنجد، رژیم‌های آبیاری از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول نداشت (Moghnibashi and Razmjoo, 2012). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش داراب ۱۴ با ۵۹/۸ بیشترین تعداد دانه در کپسول و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ افغانستان با ۳۶/۱ کمترین تعداد دانه در کپسول را نشان داد که در مقایسه با ژنوتیپ داراب ۱۴ در شرایط بدون تنش ۳۹/۶ درصد کاهش داشت. پژوهش‌هایی بر روی گیاه کنجد نشان می‌دهد که رژیم‌های آبیاری بر روی تعداد دانه در کپسول اثر می‌گذارد و با افزایش فواصل آبیاری، تعداد دانه در کپسول کاهش می‌یابد (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2010; Dilip *et al.*, 1991).

تأثیر تنش خشکی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد اما در شرایط بدون تنش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در پژوهشی محققان گزارش کردند اثر رژیم‌های آبیاری بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (Moghnibashi and Razmjoo, 2012). برخلاف نتایج حاصل از این تحقیق که در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، پژوهشگران گزارش کردند اثر سطوح آبیاری بر روی وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014). مطالعات بر روی گیاه کنجد (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2005; Mehrabi and Ehsanzadeh, 2010)، و همچنین مطالعه بر روی گیاه سیاه‌دانه (Nourouzpour and Rezvani Moghaddam, 2006) نشان داد که افزایش فواصل آبیاری تأثیر چندانی بر کاهش وزن هزار دانه این گیاهان ندارد. به نظر می‌رسد که تنش خشکی در کل دوره رشد از بین اجزای عملکرد، کمترین اثر را روی وزن هزار دانه داشته است. اثر تیمارهای مورد بررسی بر روی وزن هزار دانه معنی‌دار بود اما در مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد که علت این امر این است که در آنالیز واریانس، واریانس بین تیمارها (ژنوتیپ‌ها) حاصل میانگین همه تیمارها بوده، در حالی‌که در مقایسه میانگین‌ها، وقتی مقایسه بین دو تیمار کاملاً متفاوت (یکی با میانگین بالا و دیگری با میانگین پایین) صورت می‌گیرد می‌تواند مقدار اختلاف بیشتری نشان داده و در مقایسه با واریانس خطا معنی‌دار شده و گروه‌بندی شود. به‌طوری‌که ژنوتیپ دشتستان ۲ با ۳/۳۵ گرم در شرایط بدون تنش و ژنوتیپ افغانستان با ۱/۸ گرم کمترین وزن هزار دانه را در شرایط تنش خشکی داشت که نسبت به شرایط بدون تنش ۴۶/۳ درصد کاهش داشت.

اثر سطوح آبیاری بر درصد روغن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. حداکثر و حداقل محتوای روغن به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ داراب ۱۴ با ۴۹/۷ درصد در شرایط بدون تنش و ژنوتیپ پاکستان با ۳۰/۳۵ درصد در شرایط تنش خشکی بود که ژنوتیپ پاکستان نسبت به داراب ۱۴، ۳۸/۹ درصد کاهش نشان داد. یکی از دلایل کاهش درصد روغن در شرایط خشکی می‌تواند افزایش میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب باشد (Awasthi *et*

al., 2017). همچنین محققان به کاهش کربوهیدرات‌های قابل دسترس، در شرایط تنش خشکی، جهت ساخت روغن اشاره کرده‌اند (Taize and Zeiger, 1991). از طرفی در شرایط تنش خشکی فرآیندهای آنزیمی و تشکیل پروتئین‌ها باعث مصرف آسیمیلات‌ها می شود، در واقع گیاه در برابر تنش غیر زنده با تولید ترکیبات زیستی فعال با آثار تنش مقابله می‌کند (Hamrouni *et al*., 2001; Laribi *et al*., 2009) که با اثر بر عملکرد محصول میزان روغن را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. مطالعات نشان داده است که درصد روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) با افزایش تنش خشکی کاهش یافت و از ۴۵ درصد در شرایط آبیاری مطلوب به ۴۴ درصد در شرایط تنش خشکی کاهش یافت و در بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد روغن اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و ژنوتیپ ۳۱۴۷ با میانگین ۴۶ درصد بیشترین درصد روغن را در شرایط مطلوب و تنش خشکی تولید کرد (Fanaee *et al*., 2014). سایر محققان نیز اظهار داشتند با افزایش تنش خشکی درصد روغن دانه کاهش معنی‌داری یافت و بالاترین درصد روغن از تیمار شاهد (آبیاری کامل) و کمترین درصد روغن نیز از تیمار تنش خشکی (بدون آبیاری) به‌دست آمد. رقم داراب ۱ بیشترین درصد روغن (۴۷/۸۸ درصد) و اکوتیپ بومی کمترین درصد روغن (۴۵/۷۲ درصد) را به خود اختصاص داد (Najafi and Safari, 2012).

تأثیر شرایط بدون تنش و تنش خشکی بر روی عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ اولتان با ۱۰۴۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را ژنوتیپ مرکزی با ۳۴۸۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد که در مقایسه با بیشترین عملکرد بیولوژیک ۶۶/۸ درصد کاهش داشت. دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش، احتمالاً گسترش بیشتر و دوام بهتر سطح برگ بوده که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک شده است. با افزایش شدت تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد سطح کاهش می‌یابد (Eskandari and Zehtab, 2010). گزارش‌های دیگری نیز وجود دارند که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در این گزارش‌ها دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک، کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تحت تنش خشکی بیان شده است که جذب نور در جامعه گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک تولیدی کاهش می‌یابد (Ayeen, 2013; Eskandari *et al*., 2010; Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011).

تأثیر شرایط بدون تنش بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار ولی در شرایط تنش خشکی معنی‌دار نشد که در این مورد می‌توان گفت به همان نسبت که عملکرد دانه افزایش یافته است عملکرد بیولوژیکی نیز افزایش نشان داده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به دلیل داشتن بیشترین میزان عملکرد دانه بالاترین میزان شاخص برداشت را داشت. بیشترین شاخص برداشت در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ شعبان با ۲۶/۳۰ بود. کمترین میزان شاخص برداشت متعلق به ژنوتیپ پاکستان با ۹/۸۷ بود که در مقایسه با بیشترین شاخص برداشت ۶۲/۵ درصد کاهش نشان داد. در مطالعه‌ای توسط محققان با کاهش مصرف آب، شاخص برداشت نیز کاهش یافت که حاکی از تأثیر بیشتر تنش رطوبتی بر فرآیندهای زایشی در مقایسه با رشد رویشی است (Pandy *et al*., 1984).

شاخص برداشت معیاری از کارآیی انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه می‌باشد. برخی از محققین گزارش کردند که شاخص برداشت در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (Wright *et al*., 1995). بنابراین، نتیجه گرفته می‌شود که تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری بستگی به تاثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی و دانه دارد. به عبارت دیگر، اگر تاثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیشتر از عملکرد دانه باشد، در این‌صورت با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند. اما اگر تنش خشکی بر عملکرد دانه تاثیر بیشتری داشته باشد، در این حالت افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود.

بررسی همبستگی ساده صفات

به‌منظور بررسی همبستگی صفات مختلف زراعی در مقایسه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و تعیین روابط آن‌ها همبستگی ساده در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی محاسبه گردید (جدول ۸ و ۹). در شرایط بدون تنش در بین اجزای عملکرد، تعداد کپسول در بوته، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و درصد روغن همبستگی مثبت و بالا با عملکرد دانه نشان داد (جدول ۸). عملکرد دانه بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌داری را با تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه (r=۰/۸۲۶) نشان داد. در این بررسی بین ارتفاع بوته با شاخص برداشت و همچنین عملکرد بیولوژیک با شاخص برداشت همبستگی منفی مشاهده گردید. در شرایط تنش در بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه بیشترین همبستگی (r=۰/۸۳۳) را با عملکرد نشان داد (جدول ۹). همچنین تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته،درصد روغن، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان دادند. در این بررسی بین ارتفاع بوته با شاخص برداشت، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و همچنین بین عملکرد بیولوژیک با شاخص برداشت همبستگی منفی مشاهده گردید.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط بدون تنش

Table 6- Mean comparison of agronomical traits in sesame genotypes under non-stress conditions

تیمار **Treatment**	ارتفاع گیاه **Plant height (cm)**	تعداد کپسول **Number of capsules**	تعداد دانه در کپسول **Number of seeds per capsule**	وزن هزار دانه **1000-seed Weight (g)**	درصد روغن **Oil (%)**	عملکرد دانه **Grain yield (kg.ha^{-1})**	عملکرد بیولوژیک **Biological Yield (kg.ha^{-1})**	شاخص برداشت **Harvest index (%)**
Pakistan پاکستان	98.7a	29.1jl	43.7ik	2.18mn	34.3q	1184mn	8280hk	14.29il
Sabzevar سبزوار	79.4lm	37.8ac	52.3ah	2.57f	45.7cf	1604di	8320hk	19.28cd
Afghanistan افغانستان	77.1m	29.8il	41.9k	2.3ln	37.9op	1192mn	6280l	18.98d
Dashtestan2 دشتستان۲	80.4jm	37.6ad	43.1jk	3.35a	42.7im	1860bc	8480hk	21.93b
Dashtestan5 دشتستان۵	94.8ad	33.3fh	58.4ab	2.56gl	43.1gl	1500ej	8600gk	17.44dh
Ts3 تی اس تری	97.1ab	30.2ik	47.5dk	2.9bf	39.8no	1372in	8680fj	15.81fj
Khorasan خراسان	83.8hk	39.1a	53.7af	2.7ek	43.9fj	1856bd	8440hk	21.99b
Kordistan کردستان	86.4gi	27.1l	43.2jk	2.44jn	38.7op	1176mn	6320l	18.61de
Shiraz شیراز	85.9gi	33.7eh	57.5ac	2.56gl	43.5gk	1448fl	9480bg	15.27gl
Kerman کرمان	87.2fi	31.8hj	48.6dk	2.85bg	42.9hm	1380hn	9080dh	15.19gl
Bushehr بوشهر	87.1fi	33.9eh	45.6gk	2.51hm	41.4ln	1368in	8680fj	15.76fj
Gorgan گرگان	97.8ab	35.5bf	47.7dk	2.72ej	43.5gk	1484ek	9880ae	15.02hl
Markazi مرکزی	87.9eh	27.8kl	45.7fk	2.15n	37.6p	1148n	6120l	18.76de
Ilam ایلام	79.9km	29.7il	47.3dk	2.45in	38.7op	1324jn	8640gk	15.32fk
Hormozgan هرمزگان	84.7hj	33.8eh	52.9ah	2.57fl	44.2ei	1388gm	8960eh	15.49fk
Hamedan همدان	77.5m	31.9hij	50.7bj	2.83bh	43.7fk	1468ek	8280hk	17.73df
BoyerAhmad بویراحمد	91.7ce	28.7k	45.2hk	2.34ln	41.9km	1228ln	9640af	12.74l
Ahvaz اهواز	94.8ad	36.3ae	43.1jk	2.79ci	42.7im	1372in	6320l	21.71bc
Yazd یزد	89.1eg	37.4ad	53.6ag	2.91be	46.2be	1868bc	7720jk	24.20ab
Mazandaran مازندران	97.1ab	36.5ae	49.9bk	2.88bg	44.9dh	1660cf	9640af	17.22dh
Esfahan اصفهان	95.8ac	35.7bf	48.6dk	2.83bh	47.9ab	1520ej	9720ae	15.64fk
YellowWhite یلو وایت	83.8hk	29.7il	49.9bk	2.37kn	41.1mn	1248kn	7680k	16.25ei
Jiroft13 جیرفت۱۳	94.7ad	34.7dh	47.5dk	2.9bf	46.2be	1624ch	10440ab	15.56fk
Oltan اولتان	95.1ad	29.1j	51.5bi	2.8ch	42.1jm	1384gn	10480a	13.21kl
Darab2 داراب۲	83.4il	35.4c	48.7dk	3.1ac	46.1be	1780cd	10160ac	17.52dg
Darab1 داراب۱	79.8km	38.8a	49.1ck	2.74dj	42.2jm	1624cg	8680fi	18.71de
Darab14 داراب۱۴	86.5fi	37.7ac	59.8a	3.1ac	49.7a	2344a	10120ac	23.16b
SafiAbad1 صفی‌آباد۱	96.9ab	37.5ad	51.6ai	2.71ek	47.3bc	1696ce	9720ae	17.45dg
Golpayegan گلپایگان	87.2fi	35cg	52.8ah	2.42jn	43.9fj	1396gm	9200ch	15.17gl
Varamin ورامین	83.7il	32.2gi	46.5ek	2.8ch	42.3im	1372in	10040ad	13.66jl
Yekeh Seud یکه سعود	94.1bd	38.4ab	53.8ae	3.07ad	46.3bd	2061b	8933eh	23.08b
Shaban شعبان	90.8df	37.3ad	55.2ad	3.15ab	45dg	2059b	7827ik	26.30a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column and for each treatment, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط تنش

Table 7- Mean comparison of agronomical traits in sesame genotypes under stress conditions

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed Weight (g)	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد (بیولوژیک) Biological Yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
Pakistan پاکستان	87.1ab	21.3mn	38.2gj	1.79e	30.3o	624g	6320bc	9.87f
Sabzevar سبزوار	67.1l	29.2di	47.5ad	2.05ce	40.1bg	876bg	6440b	13.60df
Afghanistan افغانستان	72.8ik	22.7ln	36.1j	1.8e	33.4n	644fg	3720t	17.31be
Dashtestan2 دشتستان۲	69.8kl	31.7ej	37.8hj	2.86a	38.3gj	1120ab	5960ef	18.79bd
Dashtestan5 دشتستان۵	81.2cg	28.1gk	41.3cj	2.12be	37.9hj	756cg	6120de	12.35ef
Ts3 تی اس تری	88.7a	26.8ae	41.9bj	2.1be	36.3jl	768ch	5240mn	14.66df
Khorasan خراسان	71.3jk	34.7a	48.1ac	1.95de	39.7ch	1020bc	6920a	14.74df
Kordistan کردستان	71.9ik	21.4mn	39.7ej	1.89e	35.6km	672eg	3920s	17.14be
Shiraz شیراز	77.6gh	27.5fk	51.1a	2.14be	39.7bh	892bg	5440kl	16.40ce
Kerman کرمان	81.8ce	26.4hl	41.8cj	2.26ae	35.1kn	748cg	4960op	15.08df
Bushehr بوشهر	77.8gh	28.7ej	37.9hj	2.28ae	36.7ijkl	764cg	5640hj	13.55df
Gorgan گرگان	89.3a	29.7di	43.7aj	2.15be	38.3gj	852bg	5320lm	16.01cf
Markazi مرکزی	80.2dg	21.1n	39.6ej	1.83e	33.9mn	660eg	3480u	18.97ad
Ilam ایلام	71.3jk	21.3mn	39.8dj	1.89e	34.9ln	692eg	5680gi	12.18ef
Hormozgan هرمزگان	73.2ik	29.1di	43.7aj	2.2ae	40.6bf	860bg	4720q	18.22be
Hamedan همدان	69.8kl	26.1il	41.3cj	2.32ae	37.1ik	768cg	5840fg	13.15df
BoyerAhmad بویراحمد	80.9cg	23.6kn	38.9fj	2.04ce	39.3eh	736gd	5480jl	13.43df
Ahvaz اهواز	87.5ab	31.9ad	37.4ij	2.31ae	40.1bg	812cg	4400r	18.45be
Yazd یزد	75.6hi	30.3bg	43.8ai	2.28ae	41.4bc	928be	4280r	21.68ac
Mazandaran مازندران	73.2ik	28.7dj	42.3bj	2.42ae	38.4gi	904bf	5520ik	16.38cf
Esfahan اصفهان	83.9bc	29.3di	42.3bj	2.15be	43.6a	808cg	4640q	17.41be
YellowWhite یلو وایت	78.2fh	25.1jm	40.1dj	2.05ce	39.8bh	740dg	3880st	19.07ad
Jiroft13 جیرفت۱۳	83.2cd	29.8ch	39.4ej	2.3ae	43.7a	848bg	5720gh	14.83df
Oltan اولتان	80.9cg	26.3hl	46.9ae	2.1be	39.8bh	780cg	4920p	15.85cf
Darab2 داراب۲	78.7eh	29.1di	40.4cj	2.65ac	41.1bd	1008bd	6240cd	16.15cf
Darab1 داراب۱	73.3ik	33.6ac	41.3cj	2.38ae	37.1ik	1016bc	5440kl	18.68bd
Darab14 داراب۱۴	81.7cf	31.3ae	50.1ab	2.72ab	41.3be	1360a	5800fh	23.45ab
SafiAbad1 صفی‌آباد۱	89.8a	33.7ab	43.1aj	2.1be	40.9bf	896bf	5080np	17.64be
Golpayegan گلپایگان	80.6cg	29.5di	45.1ah	1.98de	41.7ab	784cg	5440kl	14.41df
Varamin ورامین	78.4eh	27.5fk	39.7dj	2.66ac	39.4dh	924be	5120no	18.05be
YekehSeud یکه سعود	81.5cf	31.4ae	45.9af	2.58ad	41.2bf	1124ab	6773a	16.59bg
Shaban شعبان	73.5ij	31.1af	45.8ag	2.6ad	39.2fh	1127ab	4307r	26.17a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column and for each treatment, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using Duncan’s Multiple Range Test.

رابطه منفی ارتفاع بوته با شاخص برداشت به این علت است که شرایط تنش خشکی بیشتر روی رشد رویشی گیاه تاثیر می‌گذارد تا روی رشد زایشی، بنابراین با کاهش ارتفاع بوته (که جزئی از عملکرد بیولوژیک می‌باشد) باعث افزایش شاخص برداشت می‌گردد که البته این افزایش به علت کاهش عملکرد دانه زیاد نمی‌تواند چشمگیر باشد. در شرایط تنش خشکی، دوره رشد رویشی گیاه کوتاه شده و زودتر وارد فاز زایشی می‌شود و در عمل با کم شدن ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد. گیاه برای جبران کاهش عملکرد دانه که ناشی از کاهش تعداد کپسول در بوته می‌باشد، تعداد دانه در کپسول و نیز وزن هزار دانه را افزایش می‌دهد. به عبارتی دیگر در شرایط تنش خشکی اجزای عملکرد دانه نقش جبران‌کننده را بازی می‌کنند. تنش خشکی آن‌قدر که باعث کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردد کمتر عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. لذا با کاهش عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. در مورد رابطه عملکرد با تعداد کپسول در پژوهشی در شرایط بدون تنش ارتفاع بوته با تعداد کپسول در بوته و تعداد کپسول در ساقه همبستگی منفی و معنی‌دار و با وزن هزاردانه، سطح برگ، عملکرد دانه و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌دار داشت. همچنین در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته با تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول در ساقه و میزان پرولین همبستگی منفی و معنی‌دار و با تعداد دانه در کپسول، سطح برگ، عملکرد و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌دار نشان داد (Khammar, 2007). در پژوهشی دیگر همبستگی ارتفاع با وزن هزار دانه منفی و غیر معنی‌دار بود (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014). در مطالعه‌ای دیگر محققان گزارش کردند در شرایط تنش خشکی بین ارتفاع و عملکرد همبستگی منفی و غیر معنی‌دار وجود دارد (Askari *et al*., 2016). محققان در پژوهشی عنوان کردند که ارتفاع با عملکرد دانه و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌دار و با وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی دار داشت (Lalpantluangi and Pankaj, 2018). در مطالعه‌ای دیگر ارتفاع با تعداد دانه در کپسول و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌داری داشت (Bharathi and Vivekanandan, 2009). در پژوهشی محققان گزارش نمودند که وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دارد (Kathiresan and Gnanamurthy, 2000). در مطالعه‌ای دیگر که روی ۲۶ ژنوتیپ کنجد در دو فصل زراعی صورت گرفته بود اعلام نمودند که در هر دو فصل، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد کپسول در بوته با عملکرد تک بوته وجود دارد (Kandasamy *et al*., 1990). در پژوهشی دیگر با مطالعه ۷۵ هیبرید کنجد و ۲۰ والد آن‌ها نتیجه‌گیری نمودند که عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه دارد (Padmavathi and Thangavelu, 1996). بر اساس نتایج ضریب همبستگی یک پژوهش، در کنجد بین صفات وزن هزار دانه، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت (Shahrabi *et al*., 2013).

ارزیابی ارقام کنجد بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی

۱- شاخص متوسط بهره‌وری MP:

گزینش برای این شاخص معمولاً موجب افزایش میانگین عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌گردد. با توجه به جدول ۱۰ متوسط بهره‌وری عملکرد برای تیمار داراب ۱۴ (۱۸۵۲) بیشترین و برای تیمار مرکزی و پاکستان (۹۰۴) کمترین مقدار را دارد. این شاخص به‌تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب ارقام برتر در شرایط تنش باشد، زیرا توانایی تفکیک ارقامی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد بالاتری دارند با ارقامی که فقط در شرایط تنش یا بدون تنش عملکرد بالایی دارند را نخواهند داشت. شاخص MP برای گزینش ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی عملکرد بالایی تولید می‌کنند، چندان مناسب نمی‌باشد (Fernandez, 1992). اگرچه نعیمی و همکاران (Naeimi *et al*., 2008) شاخص MP را معیار مناسبی برای گزینش لاین‌های پر محصول و متحمل به خشکی ذرت معرفی کردند، سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-se Mardeh *et al*., 2006) گزارش کردند که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی بازده دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خیلی زیاد نباشد.

۲- شاخص میانگین هندسی GMP:

شاخص GMP در مقایسه با شاخص MP قدرت تفکیک ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی دارند را خواهد داشت. با توجه به جدول ۱۰ تیمار داراب ۱۴ (۱۷۸۵/۴۵۲) بیشترین GMP و تیمار پاکستان (۸۵۹/۵۴۴) کمترین مقدار را دارد. در پژوهشی محققان با بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های کنجد بیان کردند که توده محلی دزفول و رقم دزفول بر اساس شاخص‌های GMP، MP، HARM و STI ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب شدند (Golestani and Pakniat, 2007). در تحقیقی دیگر بیان داشتند ژنوتیپ ۳۲-۱۵ در هر دو سال بر اساس شاخص‌های GMP، MP، YI و STI به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی می‌باشد (Boureima *et al*., 2016).

جدول ۸- ضرایب همبستگی میان عملکرد و صفات عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط بدون تنش

Table 8- Correlation coefficients between grain yield and yield traits of sesame genotypes under non-stress conditions

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8
ارتفاع گیاه 1 Plant height	1							
تعداد کپسول 2 Number of capsules	0.086ns	1						
تعداد دانه در کپسول 3 Number of seeds per capsule	0.106ns	0.504**	1					
وزن هزار دانه 4 1000-seed weight	0.145ns	0.686**	0.367*	1				
درصد روغن 5 Oil (%)	0.157ns	0.771**	0.640**	0.679**	1			
عملکرد بیولوژیک 6 Biological Yield	0.264ns	0.224ns	0.304ns	0.299ns	0.495**	1		
شاخص برداشت 7 Harvest index	-0.030ns	0.632**	0.409*	0.602**	0.399*	-0.414*	1	
عملکرد دانه 8 Grain yield	0.121ns	0.826**	0.652**	0.826**	0.754**	0.228ns	0.787**	1

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns: Non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۹- ضرایب همبستگی میان عملکرد و صفات عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط تنش

Table 9- Correlation coefficients between grain yield and yield traits of sesame genotypes under stress conditions

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8
ارتفاع گیاه 1 Plant height	1							
تعداد کپسول 2 Number of capsules	0.04ns	1						
تعداد دانه در کپسول 3 Number of seeds per capsule	-0.076ns	0.452**	1					
وزن هزار دانه 4 1000-seed weight	-0.107ns	0.595**	0.201ns	1				
درصد روغن 5 Oil (%)	0.101ns	0.671**	0.465**	0.447**	1			
عملکرد بیولوژیک 6 Biological Yield	0.042ns	0.342*	0.279ns	0.237ns	0.196ns	1		
شاخص برداشت 7 Harvest index	-0.195ns	0.385*	0.295ns	0.547**	0.286ns	-0.512**	1	
عملکرد دانه 8 Grain yield	-0.145ns	0.746**	0.573**	0.833**	0.530**	0.331*	0.630**	1

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns: Non-significant,* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۰- مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های کنجد

Table 10- Comparison of different drought tolerance indices for sesame genotypes

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد در محیط بدون تنش $Yp(kg.ha^{-1})$	عملکرد در محیط تنش خشکی $Ys(kg.ha^{-1})$	شاخص متوسط بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش خشکی STI
Pakistan پاکستان	1184	624	904	859.5441	560	1.078829	0.315251
Sabzevar سبزوار	1604	876	1240	1185.371	728	1.035245	0.599555
Afghanistan افغانستان	1192	644	918	876.1552	548	1.048625	0.327554
Dashtestan2 دشتستان۲	1860	1120	1490	1443.329	740	0.907475	0.888897
Dashtestan5 دشتستان۵	1500	756	1128	1064.894	744	1.131352	0.483875
Ts3 تی اس تری	1372	768	1070	1026.497	604	1.004151	0.44961
Khorasan خراسان	1856	1020	1438	1375.907	836	1.027411	0.80779
Kordistan کردستان	1176	672	924	888.9724	504	0.977551	0.337207
Shiraz شیراز	1448	892	1170	1136.493	556	0.875835	0.55113
Kerman کرمان	1380	748	1064	1015.992	632	1.04461	0.440455
Bushehr بوشهر	1368	764	1066	1022.327	604	1.007087	0.445964
Gorgan گرگان	1484	852	1168	1124.441	632	0.971403	0.539503
Markazi مرکزی	1148	660	904	870.4482	488	0.969603	0.3233
Ilam ایلام	1324	692	1008	957.1875	632	1.088793	0.390944
Hormozgan هرمزگان	1388	860	1124	1092.557	528	0.867682	0.509341
Hamedan همدان	1468	768	1118	1061.802	700	1.087647	0.481069
BoyerAhmad بویراحمد	1228	736	982	950.6882	492	0.913867	0.385653
Ahvaz اهواز	1372	812	1092	1055.492	560	0.931001	0.475369
Yazd یزد	1868	928	1398	1316.626	940	1.147802	0.739683
Mazandaran مازندران	1660	904	1282	1225.006	756	1.038795	0.64032
Esfahan اصفهان	1520	808	1164	1108.224	712	1.068446	0.524053
YellowWhite یلو وایت	1248	740	994	960.9995	508	0.928464	0.394064
Jiroft13 جیرفت۱۳	1624	848	1236	1173.521	776	1.089913	0.587628
Oltan اولتان	1384	780	1082	1039	604	0.995444	0.460629
Darab2 داراب۲	1780	1008	1394	1339.492	772	0.989267	0.765598
Darab1 داراب۱	1624	1016	1320	1284.517	608	0.853952	0.704045
Darab14 داراب۱۴	2344	1360	1852	1785.452	984	0.957533	1.360245
SafiAbad1 صفی‌آباد۱	1696	896	1296	1232.727	800	1.075921	0.648417
Golpayegan گلپایگان	1396	784	1090	1046.166	612	0.999959	0.467006
Varamin ورامین	1372	924	1148	1125.934	448	0.744801	0.540937
YekehSeud یکه سعود	2061	1124	1592.5	1522.026	937	1.036997	0.988473
Shaban شعبان	2059	1127	1593	1523.316	932	1.032466	0.99015
Mean میانگین	1530.875	859.7083					

۳- شاخص تحمل به خشکی TOL:

با استفاده از این شاخص می‌توان پایداری عملکرد تیمارها را تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بررسی نمود. مقادیر بالای این شاخص نشانه حساسیت نسبی این تیمارها به تنش می‌باشد. تیمار داراب ۱۴ دارای بیشترین مقدار (۹۸۴) شاخص بوده و حساسیت نسبی این تیمار به تنش زیاد می‌باشد. تیمارهایی که مقدار

TOL کمتری دارند، تفاوت عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کمتر است. مقادیر پایین این شاخص مربوط به تیمار ورامین (۴۴۸) می‌باشد که حاکی از پایداری در هر دو شرایط می‌باشد. این شاخص معیار مناسبی برای شناسایی تیمارهای متحمل به خشکی نمی‌باشد زیرا تیمارهایی وجود دارد که در هر دو شرایط عملکرد پایینی دارند و اختلاف بین عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش کم می‌باشد و به‌تبع دارای مقدار پایین شاخص تحمل به تنش می‌باشد که مطلوب نیست. محققان نشان دادند که شاخص TOL در تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش خشکی و بدون تنش عملکرد بالایی دارند، از ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش خشکی عملکرد نسبتاً بالایی تولید می‌کنند، ناتوان است (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). انتخاب بر اساس شاخص تحمل اغلب موجب گزینش ارقامی می‌شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی تولید می‌کنند (Rosielle and Hamblin, 1981).

٤- شاخص SSI:

با استفاده از شاخص می‌توان پایداری عملکرد تیمارها را تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش بررسی نمود. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده‌ی حساسیت نسبی این تیمارها به تنش می‌باشد. تیمار یزد با (۱/۱۴۸) دارای بیشترین مقدار شاخص بوده و حساسیت نسبی این تیمارها به تنش زیاد می‌باشد. تیمارهایی که مقدار SSI کمتری دارند تفاوت عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش کمتر است. بر اساس شاخص SSI که مقادیر پایین عددی آن، نشان‌دهنده‌ی تحمل بالای رقم به تنش می‌باشد (Choukan *et al.*, 2006)، مقادیر پایین این شاخص مربوط به ورامین و داراب ۱ با مقادیر ۰/۷۴۴ و ۰/۸۵۳ می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Naderi *et al.*, 2000). باید این نکته مورد توجه باشد که این شاخص به‌تنهایی معیار مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی نمی‌باشد.

۵- شاخص تحمل به تنش خشکی STI:

شاخص تحمل به خشکی برای هر رقم از فرمول فرناندز (Fernandez, 1992) با استفاده از میانگین عملکرد هر رقم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی محاسبه گردید. مقادیر بالای شاخص تحمل به خشکی STI مطلوب می‌باشد. با توجه به جدول ۱۰ تیمار داراب ۱۴ با مقدار ۱/۳۶۰۲ بیشترین میزان شاخص تحمل تنش خشکی را دارا بود، این تیمار در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش از عملکرد بیشتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند. تیمار پاکستان کمترین میزان شاخص تحمل به تنش خشکی را داشت (۰/۳۱۵۲) که این کاهش نشان‌دهنده‌ی پایین بودن عملکرد در هر دو محیط می‌باشد. زالی و همکاران (Zali *et al.*, 2016) نیز در بررسی راهکارهای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در کلزا اظهار داشتند ژنوتیپ‌هایی که بیشترین مقدار شاخص‌های MP, GMP, STI و HARM را داشتند ژنوتیپ‌های مطلوب و برتر شناخته شدند. محمد ضابط و علیرضا صمدزاده (Zabet and Samadzadeh, 2014) در پژوهشی عنوان کردند که در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های داراب ۱۴ و بندرعباس بهترین ژنوتیپ‌ها در شرایط آب و هوایی بیرجند بودند. استفاده از نمودار سه‌بعدی YP, YS و STI (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش آبی به دو گروه A و C تقسیم کرد (ارقام دشتستان ۲، خراسان، یزد، سبزوار، مازندران، جیرفت ۱۳،داراب ۲، داراب ۱، داراب ۱۴، صفی‌آباد ۱، یکه سعود و شعبان در گروه A قرار گرفتند)، این نشان می‌دهد که شاخص STI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بوده و مقادیر بالای آن بیانگر ثبات عملکرد بیشتر ارقام در شرایط تنش خشکی است. استفاده از نمودار سه‌بعدی YP, YSو STI برای تشخیص ارقام گروه A از سایر گروه‌ها در لوبیا توسط فرناندز (Fernandez, 1992) مورداستفاده قرار گرفته است.

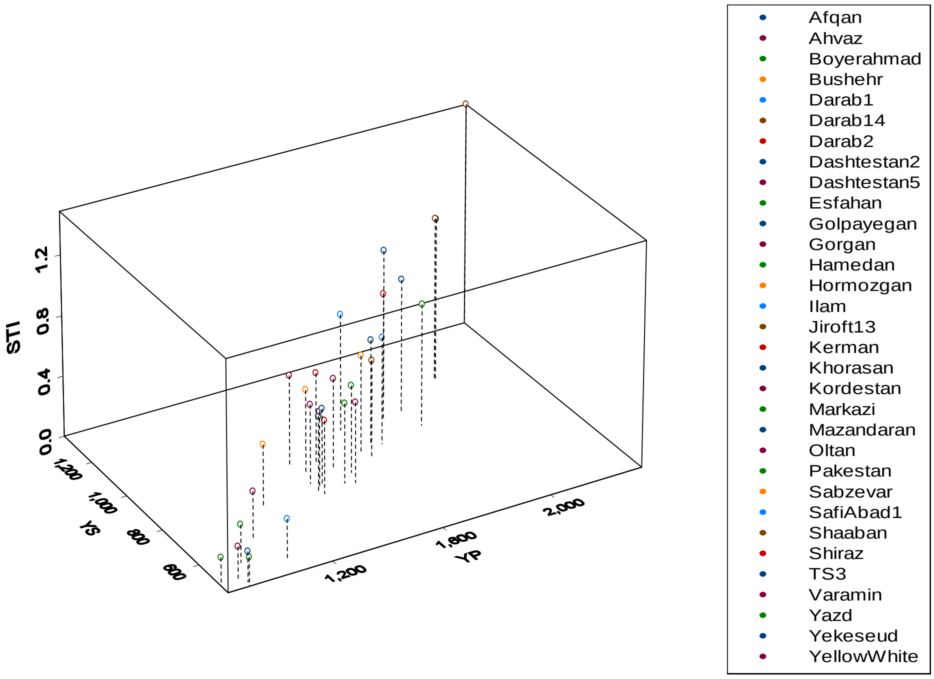
بررسی همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های تحمل

همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های تحمل تنش خشکی در کنجد نشان داد که شاخص‌های TOL,GMP, MP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند. شاخص SSI با YP همبستگی مثبت و غیر معنی‌دار و با YS همبستگی منفی و غیر معنی‌داری داشت (جدول ۱۱). شاخص MP همبستگی مثبت و معنی‌داری با TOL, GMP و STI و همچنین همبستگی منفی و غیر معنی‌دار با SSI داشت. شاخص GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با TOL, MP و STI داشت اما با شاخص SSI همبستگی منفی و غیر معنی‌دار داشت. شاخص TOL همبستگی مثبت با GMP, MP و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار و با SSI همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری نشان داد. شاخص SSI نیز همبستگی منفی و غیر معنی‌داری با GMP, MP و STI داشت اما با TOL همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری داشت. شاخص تحمل STI با GMP, MP و TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد اما با SSI همبستگی منفی و غیر معنی‌داری داشت. عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش با شاخص‌های STI, GMP, MP و TOL همبستگی بالا و معنی‌داری داشت. تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با شاخص‌های تحمل به خشکی نیز نشان داد که شاخص‌های STI, GMP, MP و TOL مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌های کنجد هستند. کارگر و همکاران (Kargar *et al.*, 2004) نیز اظهار داشتند که شاخص‌های GMP, MP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و عملکرد در هر دو شرایط محیطی دارند. رضایی زاد (Rezaeizad, 2007) گزارش

کرد شاخص GMP, MP و STI همبستگی مثبت و بسیار بالا با عملکرد در هر دو محیط دارند. پور اسماعیلی و همکاران (Poor-Esmaeili *et al.*, 2014) اعلام داشتند که شاخص‌های MP, GMP و STI در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند و بر اساس این شاخص‌ها واریته داراب ۱۴ و توده محلی سیستان به‌عنوان واریته‌های برتر در زهک معرفی شدند. سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.*, 2017) در تحقیقی، شاخص‌های MP, GMP, STI و HARM را که بیشترین همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش داشتند به‌عنوان شاخص‌های برتر برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل معرفی کردند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی PCA

جهت استفاده از تمام شاخص‌ها به‌طور همزمان در انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی PCA استفاده شد.



شکل ۱- نمودار سه‌بعدی YS, YP و STI

Figure 1- Three-dimensional graph of STI, YS, YP

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی میان شاخص‌های تحمل با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 11- Correlation coefficient between tolerance indices with seed yield in normal (YP) and stress condition (YS)

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7
عملکرد در محیط بدون تنش 1 YP	1						
عملکرد در محیط تنش خشکی 2 YS	0.0.937**	1					
شاخص متوسط بهره‌وری 3 MP	0.992**	0.974**	1				
شاخص میانگین هندسی 4 GMP	0.984**	0.984**	0.999**	1			
شاخص تحمل 5 TOL	0.919**	0.724**	0.861**	0.835**	1		
شاخص حساسیت به تنش 6 SSI	0.140ns	-0.211ns	0.013ns	0.036ns	0.515**	1	
شاخص تحمل به تنش خشکی 7 STI	0.977**	0.979**	0.992**	0.994**	0.826**	-0.035ns	1

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

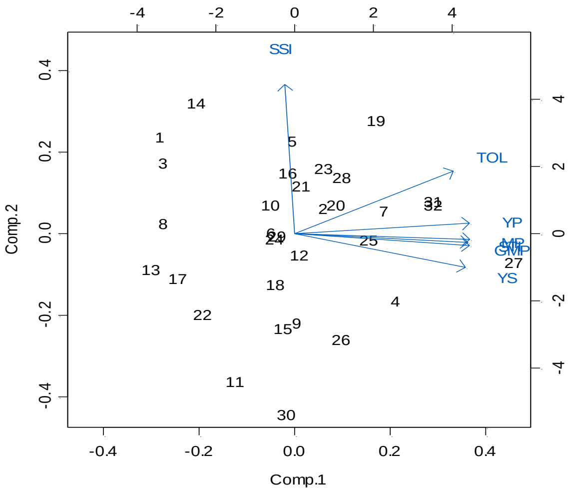
ns: Non-significant * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج حاصل از تجزیه نشان داد که دو مؤلفه اول مقدار ۹۹/۵۳ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۱۲) در صورت استفاده از دو مؤلفه اول و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر زیادی در میزان تغییرات نداشته زیرا تفسیر نتایج بر اساس دو مؤلفه اول کارایی بالایی دارد؛ بنابراین بای پلات بر اساس دو مؤلفه اول ترسیم شد (شکل ۲). اولین مؤلفه ۸۱/۸۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی با شاخص‌های GMP, MP, YS, YP و STI نشان داد. با توجه به این‌که مقادیر بالای این شاخص برای ما با اهمیت است و با توجه به رابطه مثبت مؤلفه اول با این شاخص‌ها اگر میزان بالای آن را انتخاب کنیم ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کنیم که عملکرد بالایی در محیط‌های بدون تنش و تنش خشکی دارند، از این‌رو آن را مؤلفه پتانسیل عملکرد در دو محیط نام می‌گذاریم. مؤلفه دوم ۱۷/۶۶ درصد از تغییرات موجود را به خود اختصاص داد و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های SSI و TOL داشت، از این‌رو آن را مؤلفه حساسیت به تنش می‌نامیم. نمودار بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، یکه سعود، شعبان، داراب ۲ و خراسان در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی YS, YP, GMP, MP و STI قرار دارند، همچنین این ژنوتیپ‌ها در مقایسه با شاخص‌های مهم تحمل به خشکی به YP تمایل بیشتری دارند و این نشان می‌دهد که تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها احتمالاً بیشتر به علت عملکرد بالای آن‌ها در شرایط آبیاری مطلوب می‌باشد. ژنوتیپ‌های پاکستان، افغانستان، کردستان و مرکزی ژنوتیپ‌های حساس به خشکی می‌باشند. به‌طورکلی، می‌توان این نحوه توزیع ارقام در فضای بای پلات را حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت به خشکی دانست. عشقی و همکاران (Eshghi *et al.*, 2011) در پژوهشی گزارش کردند که بین ژنوتیپ‌ها تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی وجود دارد و مؤلفه های اصلی اول و دوم مجموعاً ۹۹/۷ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند.

جدول ۱۲- مقادیر ویژه، واریانس، درصد تجمعی و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در کنجد

Table 12- Eigenvalues, variance, cumulative percentages, and eigenvectors associated to the principal components in sesame

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	واریانس Variance	تجمعی Cumulative %	عملکرد در محیط بدون تنش Yp(kg.ha^{-1})	عملکرد در محیط تنش خشکی Ys(kg.ha^{-1})	شاخص متوسط بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش خشکی STI
1	5.66	80.85	80.85	0.414	0.403	0.417	0.416	0.38	-0.0164	0.418
2	1.235	17.64	98.49	0.086	-0.20	-0.045	-0.082	0.368	0.897	-0.067

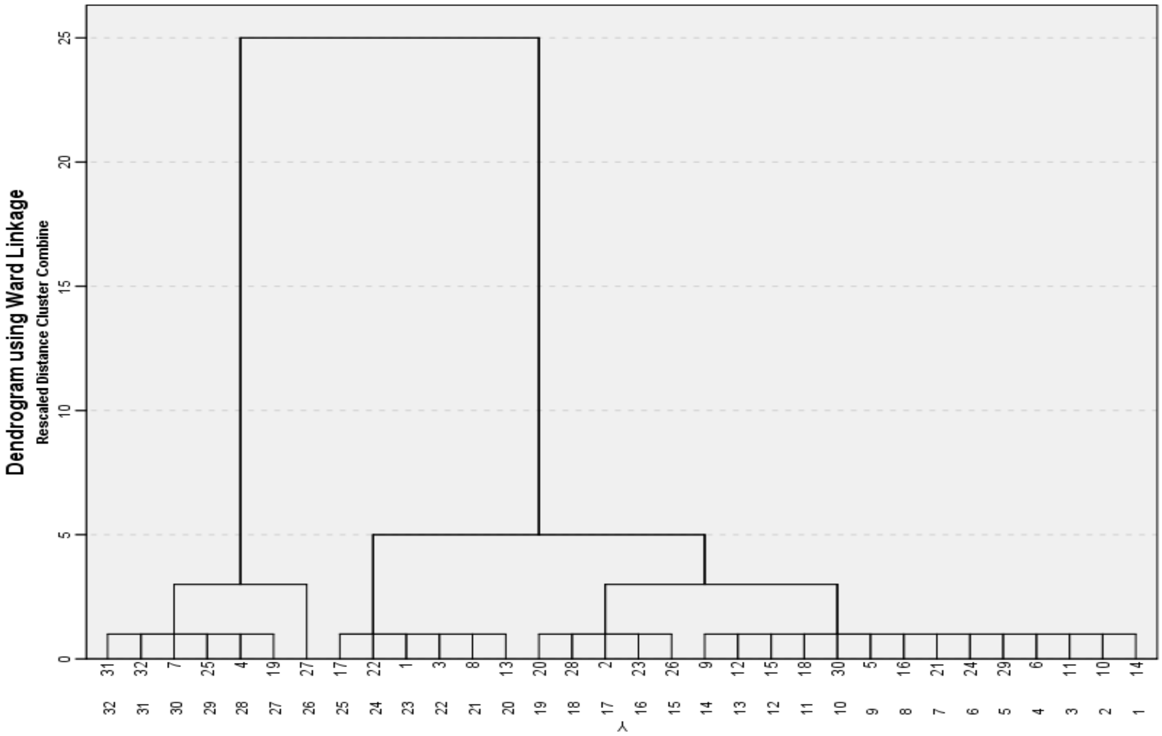


شکل ۲- نمودار بای پلات بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برای ۳۲ ژنوتیپ کنجد

Figure 2- Drawing bi-plot based on first and second components for 32 sesame genotypes
(1- Pakistan, 2- Sabzevar, 3- Afghanistan, 4- Dashtestan2, 5- Dashtestan5, 6- Ts3, 7- Khorasan, 8- Kordistan, 9- Shiraz, 10- Kerman, 11- Bushehr, 12- Gorgan, 13- Markazi, 14- Ilam, 15- Hormozgan, 16- Hamedan, 17- BoyerAhmad, 18- Ahvaz, 19- Yazd, 20- Mazandaran, 21- Esfahan, 22- YellowWhite, 23- Jiroft13, 24- Oltan, 25-Darab2, 26- Darab1, 27- Darab14, 28- SafiAbad1, 29- Golpayegan, 30- Varamin, 31- YekehSeud, 32- Shaban)

تجزیه خوشه‌ای

ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد در شرایط مطلوب، تنش، SSI, MP, GMP, TOL, و STI با استفاده از تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) و روش Ward گروه‌بندی شدند (Ward, 1963) و دندروگرام مربوطه رسم گردید (شکل ۳) که بر این اساس ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه طبقه‌بندی شدند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۲۵، ۲۷، ۳۱ و ۳۲ که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط و همچنین دارای مقادیر بالایی از شاخص‌های مهم تحمل به خشکی می‌باشند که این گروه در برابر خشکی دارای تحمل بیشتری می‌باشند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۲۲ بوده که از نظر شاخص‌های تحمل در حد پایینی قرار دارد و دارای YP و YS پایینی نسبت به گروه اول بودند. گروه سوم از نظر معیارهای یادشده در حد متوسطی قرار دارند. در مطالعه‌ای برای گروه‌بندی لاین‌های متحمل به خشکی در گندم نان بر مبنای MP, TOL و STI (FarshadFar, 2000) و بر مبنای GMP, HM و STI در لاین‌های نخود (FarshadFar *et al.*, 2001) مورد بررسی قرارگرفته است. عسکری و همکاران (Askari *et al.*, 2016) اعلام کردند که تجزیه خوشه‌ای، ۱۲ ژنوتیپ کنجد را به‌ترتیب در دو و سه دسته در شرایط نرمال و تنش تقسیم‌بندی نمود در این پژوهش ژنوتیپ داراب ۱۴ به‌عنوان ژنوتیپ برتر در شرایط تنش معرفی شد.



شکل ۳- دندروگرام صفات اندازه‌گیری شده برای ۳۲ ژنو تیپ کنجد با استفاده از روش Ward

Figure 3- Dendrogram of measured traits means for 32 sesame genotypes by using the Ward method
(1- Pakistan, 2- Sabzevar, 3- Afghanistan, 4- Dashtestan2, 5- Dashtestan5, 6- Ts3, 7- Khorasan, 8- Kordistan, 9- Shiraz, 10- Kerman, 11- Bushehr, 12- Gorgan, 13- Markazi, 14- Ilam, 15- Hormozgan, 16- Hamedan, 17- BoyerAhmad, 18- Ahvaz, 19- Yazd, 20- Mazandaran, 21- Esfahan, 22- YellowWhite, 23- Jiroft13, 24- Oltan, 25-Darab2, 26- Darab1, 27- Darab14, 28- SafiAbad1, 29- Golpayegan, 30- Varamin, 31- YekehSeud, 32- Shaban)

نتیجه‌گیری

در این بررسی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد از نظر صفات مورد اندازه‌گیری در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان دادند که بیان‌کننده تنوع ژنتیکی و امکان گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود. در بررسی همبستگی صفات، در شرایط بدون تنش تعداد کپسول در بوته، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و درصد روغن همبستگی مثبت و بالا با عملکرد نشان داد و در شرایط تنش خشکی وزن هزار دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد نشان داد. با استفاده از شاخص‌های YP, YS, MP, GMP, TOL, SSI و STI می‌توان تا حدود زیادی ژنوتیپ‌ها را بر اساس تحمل به تنش از یکدیگر جدا کرد که بر اساس این شاخص‌ها و با در نظر گرفتن

عملکرد در دو شرایط محیطی ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان، یکه سعود به‌عنوان متحمل‌ترین شناسایی شدند.

References

1. Askari, A., Zabet, M., Ghaderi M. G., and Shorvazdi, A. 2016. Choose the most important traits affecting on yield of some sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) in normal and stress conditions. Journal of Crop Breeding 8: 78 -87. (in Persian with English abstract).
2. Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berger, J., Siddique, K. H., and Nayyar, H. 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. Functional Plant Biology 41 (11): 1148-1167.
3. Ayeen, A. 2013. Effect of eliminating of irrigation at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of two sesame genotypes. Seed and Plant 29 (1): 67-79. (in Persian with English abstract).
4. Bharathi, K. K., and Vivekanandan, P. 2009. Correlation and path analysis for seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). Electronic Journal of Plant Breeding 1 (1): 70-73.
5. Boureima, S., Diouf, M., Amoukou, A. I., and Van Damme, P. 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. International Journal of Pure and Applied Biosience 4 (1): 45-60.
6. Bray, E. A. 1997. Plant response to water deficit. Trends in Plant Science 2 (2): 48-54.
7. Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance maize lines by drought stress tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences 8 (1): 2000-2010. (in Persian with English abstract).
8. Dargahi, Y., Asghari, A., Shokrpour, M., and Rasoulzadeh A. 2012. Effect of water deficit stress on root morphological characters in sesame cultivars. Journal of Production of Crops 5 (4): 151-172. (in Persian with English abstract).
9. Dilip, K., Ajumer, M., and Roy, S. 1991. Response of summer sesame (*Sesamum indicum* L.) to irrigation, rowspacing and plant population. Indian Journal of Agronomy 37: 758-762.
10. Duta, P., Jana, K., Bandypadhyay, P., and D. Maity. 2000. Response of summer (*Sesamum indicum* L.) to irrigation. Indian Journal of Agronomy 54: 613-616.
11. Eshghi, A. Gh., Muzaffari, J., and Azizov, A. 2011. Evaluation of different sesame genotypes in terms of tolerance to limited irrigation conditions using multivariate analysis methods. First National Congress of Advanced Agricultural Sciences and Technologies, Zanjan University, 10-21 September. p. 58. (in Persian).
12. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., and Ghasemi-Golezani, K. 2010. Evaluation of water use efficiency and seed yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Suitable Production 20 (1): 39-51. (in Persian with English abstract).
13. Eskandari. H., ZehtabSalmasi, S., Ghassemi-Golezani, K., and Gharineh, M. H. 2009. Effects of water limitation on grain and oil yields of sesame cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment 7 (2): 339-342.
14. Fanaee, H., Naroee Rad, M., and Mohammad Ghasemi, M. 2014. Evaluation of seed yield, yield components and tolerance to drought stress of spring canola genotypes. Seed and Plant 30 (2): 269-287. (in Persian with English abstract).
15. Farahbakhsh, S., and Farahbakhsh, H. 2014. Effect of Drought Stress on Yield and Yield Components of Sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 776-783. (in Persian).
16. Faraji, F. 2016. Evaluation of some soybean genotypes (*Glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding 8: 30-36. (in Persian with English abstract).
17. Farshadfar, A. 2000. Selection for Drought tolerance in bread wheat lines, Journal of Agricultural Sciences and Industries 14 (2): 161-171.
18. Farshadfar, A., Zamani, M. R., Matlabi, M., and Imam Jomeh A. A. 2001. Selection for drought tolerance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32 (1): 65-77. (in Persian).
19. Fernandez, GCJ. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Pp. 257-270.Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
20. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agriculture Research 29: 897-912.
21. Golestani, M., and Pakniat, H. 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame (*Sesamum indicum* L.) lines. Journal of Science Technology of Agriculture and Natural Resources 11 (41): 141-149. (in Persian).
22. Hamrouni, I., Salah, H. B., and Marzouk, B. 2001. Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. Phytochemistry 58 (2): 277-280.
23. Hassanzadeh, A., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Jamaati-e-Somarin, Sh., Saeidi, M., and Gholipouri, A. 2009. Investigation of water stress on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan region. Research Journal of Environmental Sciences 3 (2): 239- 244.
24. Heidari, M., Galnvi, M., and Hassani, M. 2011. Effects of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in Sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. African Journal of Biotechnology 10 (44): 8816- 8822.

25. Heydari Sharif Abad, H. 2001. The plants and salinity. Research Institute of Forests and Rangelands. pp: 199.
26. Jian, S., Yue-Liang, R., Mei-Wang, L., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., and Hong-Ying, Z. 2010. Effect of drought stress on Sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crop Sciences 4: 525- 533.
27. Kandasamy, G., Manchoram, V., and Thangovelu, S. 1990. Variability of metric traits and character association in sesame in two. Sesame and Safflower Newsletter 5: 10-15.
28. Kargar, S. M. A., Ghanadha, M. R., Bozorgipour, R., Khajeh Ahmad Atari, A. A., and Babaei, H. R. 2004. Evaluation of drought tolerance indices in some soybean genotypes in limited irrigation conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35 (1): 129-142. (in Persian with English abstract).
29. Kassab, O. M., Mehanna, H. M., and Aboelill, A. 2012. Drought impact on growth and yield of some sesame varieties. Applied Sciences Research 8 (8): 4544-4551.
30. Kathiresan, G., and Gnanamurthy, P. 2000. Studies on seed yield-contributing characters in sesame. Sesame and Sofflower Newsletter 15: 29-32.
31. Khajehpour, M. R. 2004. Industrial plants. Jahad University Publications of Isfahan Industrial Branch. 564 pages.
32. Khammar, M. 2007. Evaluation of drought stress on different cultivars of sesame (*Sesamum indicum* L.). Master's Thesis. University of Zabol. 144 pages.
33. Kolaeiyan, A., and GholamiSefidKuhi, M. 2012. Introducing the best method for determining the effective rainfall of rice cultivation in Ghaemshahr. Third National Conference on Water Resources Management. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (in Persian with English abstract).
34. Lalpantluangi, P. C., and Pankaj, SH. 2018. Character association and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes under foothill condition of Nagaland. The Pharma Innovation Journal 7 (5): 82-87.
35. Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (Carum carvi L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products 30 (3): 372-379.
36. Mahmood, S., Iram, S., and Athar, H. R. 2012. Intra-specific variability in sesame (*Sesamum indicum* L.) for various quantitive and qualitive attributes under differential salt regimes. Journal of Research (Science), Bahauddin Zakariya university , Multan, Pakistan 14 (2): 177-186.
37. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2010. Investigation of the effect of drought stress on yield components and grain yield of four sesame cultivars. Fifth National Conference on New Ideas. Azad University of Khorasgan Branch (Isfahan). (in Persian with English abstract).
38. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement 13 (2): 75-88. (in Persian with English abstract).
39. Moghnibashi, M., and Razmjoo, J. 2012. Effect of Seed Treatment with PEG and Irrigation Regimes on Yield, Yield Component and Yield Oil of Sesame (*Sesame indicum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 10 (1): 91-99. (in Persian).
40. Mollasadeghi, V., Gharib Eshghi, A., Shahryari, R., and Serajamani, R. 2013. Study on morphological traits of bread wheat genotypes and their relation with grain yield, under the condition of drought stress after anthesis and normal irrigation. International Journal of Farming and Allied Sciences 2 September. 1284-1291.
41. Mousavi, S. F., and Akhavan, S. 2007. Irrigation Principles, Press Kankash, 415. (in Persian).
42. Naderi, A., Majidi-Hevan, E., Hashemi-Dezfoli, A., and Nourmohammadi, G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Plant and Seed Journal 15 (4): 390-402. (in Persian with English abstract).
43. Naeimi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Sanavi, S. A. M. M., Sadat Noori, S. A., and Jabari, H. 2008. Evaluation drought Tolerance in different varieties by evaluation indices of stress in end of growth season. Journal of Crop Production 1 (3): 83-89. (in Persian with English abstract).
44. Najafi, H., and Safari, M. 2012. Evaluation of effect of drought stress on yield and yield components and oil percentage in sesame cultivars. Proceedings of the 11th national Seminar of irrigation and evaporation reduction. Bahonar Kerman University. Kerman. Iran.
45. Nourouzpour, Gh., Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of Black Cumin (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (2): 305-315. (in Persian with English abstract).
46. Padmavathi, N., and Thangavelu, S. 1996. Association of various yield components in sesame. Sesame and Sofflower Newsletter 11: 40-45.
47. Paknejad, F., Majidi, E., Noormohammadi, G., Seadat, A., and Vazan, F. 2007. Evaluation of Drought Stress on Effective Traits at Accumulative Assimilate of Grain in Different Cultivars of Wheat. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University 13 (1): 137-149. (in Persian with English abstract).
48. Pandy, R. K., Herrera, W. A. T., Villegas, A. N., and Pendleton, J. W. 1984. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. Agronomy Journal 76: 557-560.
49. Poor-Esmaeili, H. A., Fanaeib, H. R., and Saberic, M. H. 2014. Evaluation of drought tolerant cultivars and lines of sesame using stress tolerance indices. Scientific Journal of Crop Science 3 (6): 66-70.

50. Pouresmaiel, H. A., Saberi, M. H., and Fanaei, H. R. 2013. Evaluation of terminal drought stress tolerance of *Sesamum Indicum* L. genotypes under the Sistan region conditions, International Journal of Science and Engineering Investtigations 2: 58-61.
51. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.
52. Rezaeizad, A. 2007. Responses of Sunflower genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. Journal of Seedlings and Seeds 23 (1): 43-58. (in Persian).
53. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A. A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 57-68. (in Persian with English abstract).
54. Roebbelen, G. R., Downwy, K., and Ashri, A. 1989. Oil crops of world. McGrow-Hill Publisher, New York.
55. Rosielle, A. A., and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.
56. Ruziev, B. R. 1973. The responses of wheat varieties to irrigation in Kaska-Darya Province. Byulleten V.Sesoyuzongc Ordena Lenina Institute Rasteniev Dstva Imeni. N.I. Vavilovia 33: 16-23.
57. Saeidi, A., Tohidi-Nejad, E., Ebrahimi, F., Mahmoodi-Nejad, G., and Shirzadi, M. H. 2012. Investigation of water stress on yield and some yield components of sesam genotypes (*Seamum indicum* L.) in jiroft region. Journal of Applied Sciences Research 8 (1): 243-246.
58. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lensculinaris* L.) under hydroponics conditions. Journal of Environmental Sciences 3 (1): 103-109.
59. Sarmadnia, Gh. H. 1993. The Importance of Environmental Tensions in Agriculture. First Congress of Agriculture and Plant Breeding of Iran, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Karaj, University of Tehran. 30 pages.
60. Shahrabi, B., Farahmandfar, E., Hassanlo, T., Shirani Rad, A. H., and Tabatabaee, S. A. 2013. Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. Journal of Crop Production 6 (4): 97-77. (in Persian with English abstract).
61. Shiri, M., Valizadeh, M., Majidi, E., Sanjari, A., and Gharib Eshghi, A. 2010. Evaluation of wheat tolerant indices to moisture stress condition Electronic. Journal on Crop Production 3 (3): 143-161. (in Persian with English abstract).
62. Shokooh-Far, A. R., and Yaghoubi-Nejad, S. 2012. Effect of drought stress on yield components of different sesame cultivars. Journal of Agronomy and Plant Breeding 8 (4): 19-29.
63. Singh, A. J., and Byerlee, D. 1990. Relative variability in wheat yields across countries and over time. Journal of Agricultural Economics 1: 30-32.
64. Singh, J., and Patel, A. L. 1996. Water status, gaseous exchange proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. Annals of Biology 12: 77-81.
65. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. Field Crop Research 98: 222-229. (in Persian with English abstract).
66. Soleimani, A., Bihamta, M. R., Peyghambari, S. A., and Maali-Amiri, R. 2017. Evaluation of late season drought in barley genotypes using some drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding 9 (23): 166-176. (in Persian with English abstract).
67. Taiz, L., and Zeiger, E. 1991. Plant Physiology, Benjamin/Cummings, California.
68. Ward, J. H. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Journal of the American Statistical Association 58: 236-244.
69. Weise, E. A. 2000. Oilseed crops. Blackwell Sci., Ltd Oxford, UK. 364p.
70. Wright, P. R., Morgan, J. M., Jossop, R. S., and Cass, A. 1995. Comparative adaptation of canola and Indian mustard to soil water deficit. Field Crops Research 42: 1-13.
71. Zabet, M., and Samadzadeh. A. R. 2014. Evaluation of water stress tolerance in some sesame genotypes. Journal of Applied Crop Breeding 2 (2): 185-197. (in Persian).
72. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., and Zeinalabedini, M. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in Canola. Journal of Crop Breeding 8 (20): 77-90. (in Persian with English abstract).
73. Zare, M., Zinali Khaneghah, H., and Danshianov, J. 2004. Evaluation of drought tolerance of some soybean genotypes. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35 (4): 859-867. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 413-433

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۳۳-۴۱۳

Evaluation of Drought Tolerance in Some Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes Based on Stress Tolerance Indices

H. Asadi[1], R. Baradaran[2*], M. J. Seghatoleslami[2], S. G. Mousavi[2]

Received: 16-08-2020
Accepted: 03-01-2021

Introduction

Sesame is one of the oldest crops. Ethiopia is commonly accepted as the origin of domestic sesame. Sesame is a diploid (2n = 26) plant that grows as a bush. Sesame has a special place among oil plants due to its high oil content and quality as well as its high oil durability. Drought stress is a condition that cells and tissues are in a state where their inflammation is incomplete. In other words, dehydration occurs when the amount of transpiration exceeds the amount of water absorbed. Drought is one of the most important causes of declining agricultural productivity worldwide. Drought has destructive and detrimental effects on different stages of plant growth and reduces yield and yield components in sesame genotypes. Due to the serious problem of limited water resources and drought and its effect on yield reduction, this study to evaluate drought tolerance of sesame genotypes based on tolerance indices to identify and group sensitive, tolerant and resistant genotypes and select resistant genotypes and identify correlations of related traits. Drought tolerance was performed through field studies.

Materials and Methods

In order to evaluate the genetic diversity of different sesame genotypes under non-stress and drought stress conditions, an Augmented design was conducted in three blocks on 32 genotypes in the southeastern fields of Bojnourd in 2018. Genotypes used were obtained from Karaj Seed and Plant Breeding Research Institute in the amount of 1.5 grams per sample. In this experiment, one plot of land was allocated to the drought stress environment and the other to the stress-free environment. The distance between these two environments was considered to be five meters so that the humidity of the two adjacent environments did not affect each other. With the onset of stress flowering on the target medium, application and irrigation of the dry stress plot based on 200 mm and the non-stress plot based on 100 mm evaporation from the pan was performed. Cumulative evaporation from the pan determined the arrival time of irrigation in each of the environments. SAS PLUS software for calculating variance analysis, principal component analysis and mean comparison, S-PLUS software for drawing 3D and bipod diagrams, SPSS software for calculating the correlation of traits and correlation of tolerance indices and cluster tolerance analysis, respectively, from EXCEL Action was taken.

Results and Discussion

The studied genotypes showed a significant difference at the level of 1% probability in terms of traits measured under non-stress and drought stress conditions, which indicated genetic diversity and the possibility of selecting drought tolerant genotypes. Darab 14 genotype with 2344 kg.ha^{-1} had the highest grain yield and the Markazi genotype with 1148 kg.ha^{-1} had the lowest grain yield in non-stress conditions. Under drought stress conditions, Darab 14 genotype with 1360 kg.ha^{-1} had the highest grain yield which showed a 58% decrease compared to non-stress conditions. Also, the lowest grain yield was observed in Pakistani genotype with 624 kg.ha^{-1}, which was 53% less than non-stress conditions. Based on the results, Darab 14 genotype showed the highest values of MP, GMP, TOL and STI tolerance indices and the correlation analysis between yield under stress and non stress conditions with drought tolerance indices also showed that STI, GMP, MP and TOL indices the most suitable indices are for screening sesame genotype. Using three-dimensional diagrams of YS, YP and STI, the genotypes were divided into two groups A and C under drought stress conditions. In order to investigate the correlation between different agronomic traits in comparing the grain yield of genotypes and determine their relationships, a simple correlation was calculated in both non-stress and drought stress environments, which showed a positive and significant correlation between yield and yield components in both conditions.

Conclusions

This study showed that comparison genotypes significant differences in terms of measurable traits in non-stress and drought stress conditions. Using MP, GMP, TOL, SSI and STI indices, genotypes can be separated to

---

1- Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Birjand Branch, Isalmic Azad University, Birjand, Iran
2- Associated Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: r.baradaran@yahoo.com)

a large extent based on stress tolerance. Based on these indices and considering the performance in two environmental conditions Darab 14, Shaban and Yekehsaud is were identified as the most tolerant.

Keywords: Sesame, Tolerant cultivars, Water requirement, Yield